

УДК 539.4

М.С. Шидловський, к.т.н., доц., Д.Ю.Шпак, к.т.н., доц., В.В.Круш, інженер,
НТУ України "Київський політехнічний інститут", м. Київ, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ В'ЯЗКО-ПРУЖНИХ ПРОЦЕСІВ У ПРЕСОВАНИХ ДЕТАЛЕЙ ГАЛЬМІВНИХ СИСТЕМ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ

Приведены результаты процесса релаксации напряжений при сжатии образцов композиционных накладок, применяемых в тормозных колодках автомобилей. Изучено влияние жидких сред на характеристики релаксационного процесса.

The results of the stress relaxation process at the compression of the specimens of compositional linings, which are using in automobile brake pads, are presented. The flow mediums effect on relaxation process characteristics is studied.

Вступ. Забезпечення надійності роботи гальмівних систем автомобілів є одною з складових частин підвищення безпеки пасажирів та водіїв дорожньо-транспортних засобів. У зв'язку з цим підвищення якості елементів цих систем, зокрема безазбестових колодок дискових та барабанних гальм, є досить важливою задачею.

Фрикційні накладки до колодок зазначених типів, що широко використовуються в автомобільному транспорті, є багатокомпонентним композиційним матеріалом, до складу якого входять фенол-формальдегідні смоли, каучук, глинозем, скляна вата, графіт та інші речовини. Вони виготовляються методами пресування при підвищених тиску та температурі з подальшою термічною обробкою.

У процесі розробки нових матеріалів та оптимізації технологічних режимів виготовлення накладок необхідно враховувати багато фізико-механічних характеристик цих матеріалів. До них відносяться деформації при стисканні, границя міцності при зрізі, коефіцієнти тертя з урахуванням впливу температури та інші характеристики.

Для визначення зазначених характеристик використовуються методи, що відображені в чинних міжнародних та вітчизняних стандартах [1 - 4]. Ці стандарти нормують типи зразків, необхідне обладнання та засоби вимірювальної техніки, їхні технічні характеристики та умови проведення випробувань.

В нашому попередньому повідомленні [5] наведено результати експериментальних досліджень характеристик міцності та пружності гальмівних колодок дискового та барабанного типів у експлуатаційних діапазонах температур. Ці дослідження проведено на кафедрі динаміки і міцності машин та опору матеріалів НТУУ "КПІ" та у Науково-випробувальному центрі "Надійність", який акредитовано Національним агентством з акредитації України для сертифікаційних випробувань широкого спектру деталей транспортних засобів.

В зазначеній роботі описано обладнання, що було створене для вимірювання міцності зв'язку накладок з металевою основою та стислості матеріалу накладок, наведено результати вимірювання механічних характеристик у статичному режимі та при дії циклічних навантажень.

Обмеження стандартних методів. Одним з основним, на наш погляд, обмежень зазначених стандартів є неврахування в експерименті в'язко-пружних процесів, що відбуваються в накладках гальмівних колодок при дії зовнішніх навантажень.

Матеріали, що використовуються для виготовлення безазбестових гальмівних накладок, є складними багатофазними композитами, які мають певні реологічні властивості. Наявність реологічних ефектів (повзучість та релаксація напружень) при стискуванні навіть за короткий проміжок часу при стискуванні може привести до суттєвої зміни напружено-деформованого стану накладки. Наявність цих процесів, вочевидь, не зменшує міцність та надійність гальмівної системи у цілому. Проте, на наш погляд, підвищення швидкості повзучості та релаксації матеріалу, що виникає за рахунок зростання ступеня молекулярної рухомості полімерної матриці, може бути опосередкованим свідченням наявності певних недоліків структури матеріалу накладки. Експлуатація накладок з таких матеріалів може супроводжуватися виникненням суттєвих проблем, наприклад, підвищеної зношувальності при терті у контакті накладки з металевими поверхнями інших елементів гальмівної системи.

Як показує практика застосування пластмас та інших композитів, якість в'язко-пружного матеріалу можна оцінювати в цілому за таким показником, як швидкість релаксації напружень. Зокрема, аналізуючи інтенсивність релаксацийних процесів, можна визначати ступінь впливу на ці матеріали зовнішнього середовища.

Таким чином, порівнюючи швидкість релаксації напружень при стискуванні гальмівних накладок різних типів, можна оцінювати їхні властивості за реакцією на дію зовнішнього навантаження, зокрема при підвищених температурах. Зміна в'язко-пружних характеристик матеріалів, з яких виготовляються накладки, під впливом зовнішнього середовища є також, на наш погляд, важливим показником їх якості. До таких середовищ відносяться різні агресивні рідини (паливно-мастильні матеріали, кислоти, лужні матеріали та ін.). Наскільки нам відомо, питання зміни механічних властивостей матеріалу накладок під впливом агресивних середовищ до сих пір не розглядалося.

Отже, метою даної роботи є розробка методик дослідження процесу релаксації напружень в композиційних матеріалах накладок до гальмівних колодок та вивчення цього процесу з урахуванням впливу особливостей виготовлення колодок та умов експлуатації, зокрема довготривалої дії різних рідин.

Експериментальне обладнання. У випробуваннях використовували стандартні зразки матеріалу, виготовлені з фрикційних накладок до гальмівних колодок [2], що застосовуються в автотранспорті. Навантаження зразків та

вимірювання деформацій при визначенні жорсткості матеріалу гальмівних накладок виконували з використанням універсальної випробувальної машини TIRAtest-2151.

Для випробувань при підвищених температурах був виготовлений спеціальний пристрій (рисунк 1), що складається з нагрівачою чавунної плити з вмонтованою ніхромовою спіраллю та навантажувальних елементів. Для передачі стискаючого навантаження на зразок до динамометра випробувальної машини був прикріплений сталевий стрижень. Між стрижнем та зразком розміщували сталевий ступінчастий плунжер, який забезпечував рівномірний стиск зразка.

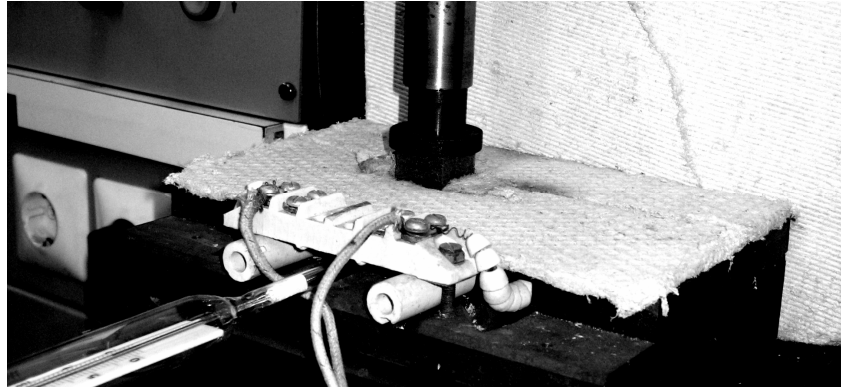


Рис. 1. Пристрій для вимірювання в'язко-пружних характеристик гальмівних колодок

Деформацію зразка вимірювали датчиком переміщення, що входить до складу випробувальної машини. Точність вимірювання датчика складала 0.01 мм.

Методика вимірювання релаксації напружень. Для проведення експериментальних досліджень застосовували схему випробувань, в якій стандартний метод визначення стислості матеріалу гальмівних накладок [2] був поєднаний з реєстрацією зміни напруження у місці контакту.

Стандартний зразок у вигляді паралелепіпеда зі сторонами $25 \times 25 \text{ мм}^2$ та товщиною, яка залежить від фактичної товщини накладки, розміщували на плиті випробувальної машини та прикладали попереднє навантаження, яке забезпечувало величину стандартного стискаючого напруження на рівні 0.5 МПа.

Після цього зразок стискали зі швидкістю переміщення 0.5 мм/хв. до досягнення такого навантаження P_0 , яке забезпечує одне з рекомендованих у [2] стискаючих напружень (4.0, 6.0 або 8.0 МПа). Після стискання реєстрували зміну навантаження у часі. При зазначеній швидкості переміщення максимальне навантаження P_0 досягалося за 10 - 15 секунд від початку деформування.

Модуль релаксації (МПа) визначали за формулою

$$E(t) = \frac{P(t) \cdot h_0}{F_0 \cdot \Delta h_k} \quad (1)$$

де t – час; $P(t)$ - навантаження в момент спостереження, Н; F_0 - площа зразка, мм^2 ; h_0 - початкова висота (товщина) зразка, мм; Δh_k - абсолютна деформація зразка, мм.

Суттєвим недоліком вимірювальної системи TIRAtest є відсутність периферійних засобів надійного запису динамічних процесів з достатньою швидкістю. Застосування механічних систем запису за рахунок значної інерції цих систем не дає змоги реєструвати початкові стадії релаксаційного процесу.

Було запропоновано використати для запису зазначених кривих вбудовану веб-камеру 1,3 мрх портативного комп'ютера PC ASUS. Швидкість запису складала 384 Kbps. Дискретність запису значення стискаючої сили дорівнювала 0.1 с. Фіксацію зміни навантажень у зразку на веб-камеру проводили протягом 300 с. Надалі фіксацію результатів виконували візуально.

Результати випробувань та їх аналіз. Для дослідження в'язко-пружних властивостей використані накладки гальмівних колодок марки "PAGID" виробництва фірми "TMD Friction GmbH", Німеччина. Зразки накладок було попередньо витримано у таких середовищах: 1. дистильована вода; 2. насичений розчин повареної солі NaCl; 3. стандартна рідина СЖР-3 (ТУ 38 10195-86), що містить найбільш хімічно-активні складові паливно-мастильних матеріалів; 4. гальмівна рідина, що застосовується на автомобільному транспорті. Витримку здійснювали протягом 120 год. при кімнатній температурі. Після цього з поверхні зразків видаляли залишки рідини та проводили кондиціювання зразків при кімнатній температурі протягом 24 год.

Зразки, встановлені на робочий стіл випробувальної машини, піддавали стисканню на величину $\Delta h_k = 0.15 \text{ мм}$. При цьому початкове максимальне навантаження P_0 при $t = 0$ складало $(5000 \pm 25) \text{ Н}$, а відповідне стискне напруження $(8.0 \pm 0.04) \text{ МПа}$. У кожному експерименті було використано 3 зразка матеріалу, отримані результати усереднювали.

На рис.2 наведено криві релаксації напружень, одержані в інтервалі від 0 до 300 с під час перебування зразка у стиснутому стані при відносній деформації

$$\varepsilon_k = (\Delta h_k / h_0) \times 100\% = 1.53\%$$

при товщині зразка 9,8 мм. На цьому рисунку криві релаксації побудовані в координатах "відношення $P(t) / P_0$ – час t ", де $P(t)$ - навантаження, що спостерігаються в кожний момент часу t .

Для аналітичного описання зображених на рис.2 кривих релаксації напружень використано узагальнену модель Максвелла та рівняння, що відповідає цієї моделі

$$E(t) = E_0 + \sum_{i=1}^n E_i \cdot \exp(-t/\tau_i) \quad (2)$$

де $E(t)$ - модуль релаксації (1); E_0 , E_i , τ_i - коефіцієнти рівняння релаксації.

Зазначені коефіцієнти, які визначали за допомогою програми **OriginPro**, наведені в табл.1. Встановлено, що для описання кривих релаксації напружень досліджених матеріалів достатньо взяти перші три доданки в експоненціальному ряду. Подальше збільшення числа експонент дає поправку на рівні експериментальної похибки і тому позбавлене сенсу.

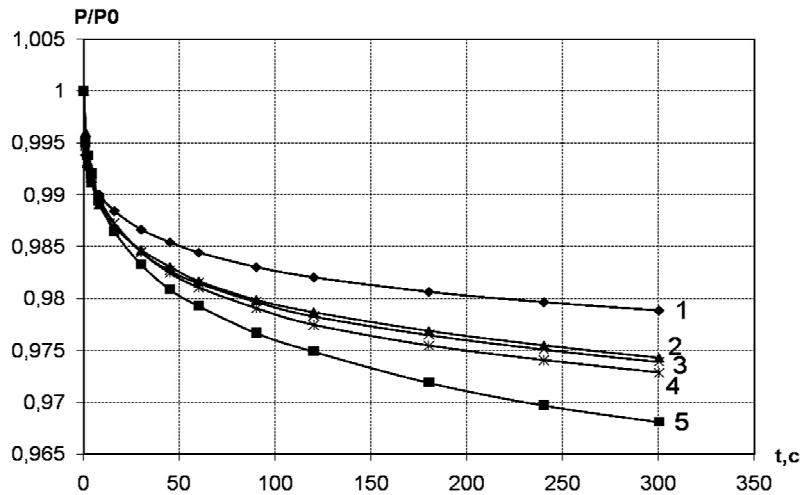


Рис. 2. Криві релаксації напружень в матеріалі гальмівних колодок після дії різних середовищ протягом 120 годин.
1 – контрольний зразок; 2 - дистильована вода; 3 - сольовий розчин; 4 - рідина СЖР-3; 5 - гальмівна рідина

Таблиця 1

Коефіцієнти рівняння (2), що відповідає узагальненої моделі Максвелла

Середовище	Коефіцієнти E_i , МПа				Часи релаксації τ_i , сек.		
	E_0	E_1	E_2	E_3	τ_1	τ_2	τ_3
Контрольні зразки	465.58	4.94	2.25	3.34	132.7	12.40	0.615
Дистильована вода	462.16	6.40	3.48	4.04	225.7	23.81	1.719
Розчин NaCl	463.30	6.49	3.91	3.14	174.3	16.85	0.798
Рідина СЖР-3	462.54	7.10	3.69	2.86	130.8	14.65	0.726
Гальмівна рідина	459.60	9.89	4.52	2.30	162.8	12.52	0.547

Як видно з рис.2, криві релаксації є гладкими та монотонними. Модулі пружності матеріалів, визначені у початковий момент часу прикладення навантаження як сума E_0 , E_1 , E_2 та E_3 , практично не відрізняються для зразків, що були витримані у різних рідинах. Надалі при збільшенні часу спостереження різниця між модулями $E(t)$ стає більш помітною. Модуль релаксації зразків, витриманих у гальмівній рідині та виміряний при стискуванні протягом 300 сек., зменшився у порівнянні з модулем контрольних зразків приблизно на 10-11%.

За наведеними експериментальними даними були розраховані швидкості релаксації напружень у різні моменти часу. При цьому абсолютну величину швидкості релаксації визначали за формулою

$$V(t) = \sum_{i=1}^n \frac{E_i \cdot \exp(-t/\tau_i)}{\tau_i} \quad (3)$$

Значення швидкостей релаксації у діапазоні 2-60 сек. наведені у табл.2. Встановлено, що після витримки зразків у застосованих в експериментах рідинах швидкості процесу релаксації суттєво збільшується. При цьому максимальна зміна швидкості спостерігається після витримки у гальмівній рідині, найменша - у дистильованій воді.

Таблиця 2.

Швидкості релаксації, МПа/с, розраховані за рівнянням (3)

Середовище	Час витримки після навантаження, сек.					
	2	4	8	15	30	60
Контрольні зразки	0.401	0.176	0.130	0.087	0.046	0.025
Дистильована вода	0.894	0.381	0.155	0.104	0.066	0.033
Розчин NaCl	0.564	0.245	0.180	0.129	0.070	0.033
Рідина СЖР-3	0.523	0.260	0.196	0.139	0.076	0.039
Гальмівна рідина	0.476	0.324	0.249	0.163	0.084	0.045

На рис.3 відображена зміна швидкостей релаксації у залежності від часу спостережень релаксаційного процесу. У вищезазначеному інтервалі часу швидкості релаксації після витримки у гальмівній рідині збільшилися на (80-90)% (у середньому на 87%) порівняно з контрольними зразками. Швидкості релаксації після витримки у дистильованій воді, соловому розчині та стандартній рідині СЖР-3 збільшилися у середньому на 29, 42 та 56% відповідно.

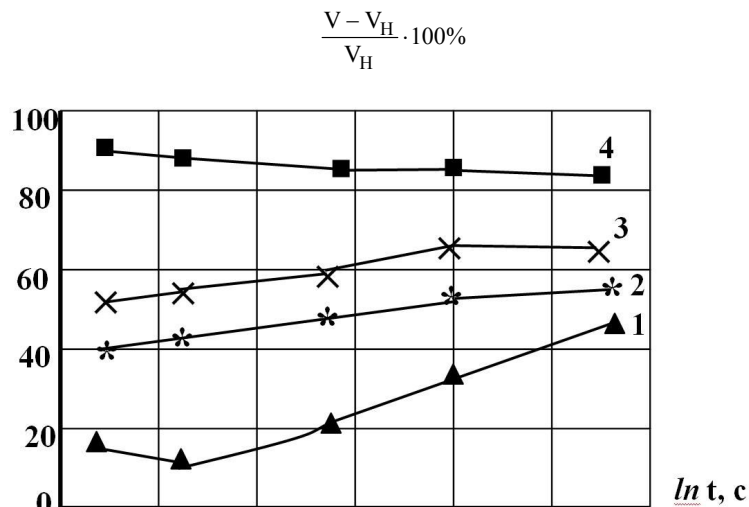


Рис. 3. Зміни швидкостей релаксації напружень V після витримки зразків у різних середовищах порівняно з швидкостями релаксації контрольних зразків V_H . 1 - дистильована вода; 2 - соловий розчин; 3 - рідина СЖР-3; 4 - гальмівна рідина

Висновки

1. Пружні характеристики антифрикційних накладок до гальмівних колодок випробуваного типу практично не змінюються після витримки їх у різних рідких середовищах.
2. Модулі релаксації, виміряні у контрольних зразках та у зразках, що були витримані у цих рідинах, відрізняються не більш, ніж на 10-11%.
3. Витримка у рідинах, застосованих у наших дослідках, збільшує швидкості релаксації напружень матеріалу фрикційних накладок від 17-42% (дистильована вода) до 80-90% (гальмівна рідина), що свідчить про зміну структури матеріалу.
4. Наведені результати показують можливість застосування швидкості релаксації напружень як структурно-чутливого параметру, що характеризує стан матеріалу накладок.

Список літератури

1. Державний стандарт України ДСТУ UN/ECE R 90-01:2005 "Єдині технічні приписи щодо офіційного затвердження змінних гальмівних накладок у зборі і гальмівних накладок барабаних гальмівних механізмів колісних транспортних засобів та їхніх причепів".
2. Державний стандарт України ДСТУ ГОСТ ІСО 6310:2006 "Транспорт дорожній. Накладки гальмівні. Метод визначення стисності".
3. Державний стандарт України ДСТУ ГОСТ ІСО 6311:2004 "Дорожній транспорт. Накладки гальмівні. Метод визначення опору зрізу матеріалу накладок".
4. Державний стандарт України ДСТУ ГОСТ ІСО 6312:2006 "Транспорт дорожній. Накладки гальмівні. Метод випробування на зсув накладки складеної з колодкою дискового і барабанного гальмівного механізму".
5. Шпак Д.Ю., Шидловський М.С., Круш В.В. Удосконалення методів контролю експлуатаційних характеристик гальмівних систем автомобільного транспорту. // В кн.: Динаміка, надійність і довговічність механічних і біомеханічних систем та елементів їхніх конструкцій. Матеріали міжнародної науково-технічної конференції – Севастополь, 8-10 вересня 2009. – С. 88-96.